

Modélisation par Eléments Finis d'une Ligne à Retard à Ondes de Love

O. TAMARIN ^a, R. DJOUMER ^b, H. HALLIL ^b, D. REBIERE ^b, C. DEJOURS ^b

a. Univ. Antilles Guyane, UMR ESPACE DEV, IRD - 0.275 Km Route de Montabo - BP 165 - 97323 Cayenne cedex

b. Univ. Bordeaux, Laboratory IMS, CNRS UMR 5218, IPB, Univ. Bordeaux 1, Talence, France

Résumé :

Les capteurs à ondes acoustiques de surface ont largement démontré leurs performances pour la détection de composés chimiques ou biologiques. Plus précisément, les dispositifs à onde de Love font l'objet d'une attention particulière pour des applications en milieux liquides notamment. Nous proposons la mise en œuvre du logiciel de calcul par éléments finis COMSOL Multiphysics[®] pour assurer une modélisation globale de ces capteurs, afin d'évaluer des grandeurs souvent ignorées (déformations mécaniques, pertes de propagation, ...etc) et de considérer des comportements ou des matériaux non homogènes (films sensibles hybrides structurés, biofilms, ...etc). Des résultats préliminaires sont présentés, les perspectives et potentialités de cette démarche pour la conception des capteurs à ondes de Love sont introduites.

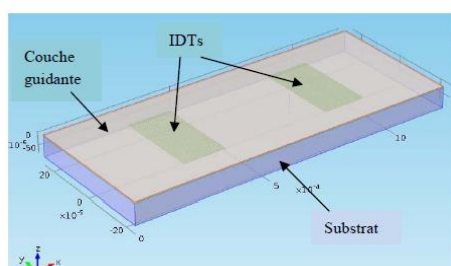
Mots clés : Capteurs à ondes acoustiques, modélisation par éléments finis, ondes de Love

1 Introduction

La détection des espèces biochimiques reste un défi majeur dans divers domaines tels que l'environnement ou la santé. Dans ces domaines, les chercheurs doivent relever le double défi de réduire le seuil de détection des espèces chimiques et d'étendre la capacité des dispositifs à détecter davantage d'espèces cibles dans un environnement complexe. Depuis plusieurs années, les dispositifs à ondes de Love font l'objet d'une attention particulière en raison de leur grande sensibilité [1-3], et de leur capacité à fonctionner en milieu liquide [2]. Leur modélisation, indispensable à leur conception, se base essentiellement sur la description de structures multicouches [4-5]. Dans ces modèles, les caractéristiques de propagation de l'onde sont calculées, plus particulièrement la vitesse de phase qui permet l'estimation de la sensibilité à l'effet de masse des capteurs. Nous présentons ici la mise en œuvre d'un logiciel de calcul par éléments finis pour une modélisation globale 3D de ces capteurs [6]. Après une description rapide du dispositif, nous décrivons des résultats préliminaires obtenus, avant de conclure sur les potentialités d'un tel outil.

2 Présentation du dispositif de test

La Figure 1 (à gauche) représente un exemple typique de capteur à ondes acoustiques de Love.



Longueur du substrat	1170 μm
Épaisseur du substrat	80 μm
Largeur du substrat	500 μm
Épaisseur de la couche guidante	4 μm
Longueur d'onde	40 μm
Largeur d'un doigt d'IDT	5 μm ($\lambda/8$)
Nombre de paires de doigts	8

FIG. 1 – Principales caractéristiques du dispositif simulé.

La structure est constituée d'un substrat de quartz sur lequel sont déposées les électrodes interdigitées (IDTs) constituées de doigts dédoublés en $\lambda/8$, d'une couche dite « guidante » de SiO_2 et d'une couche sensible

spécifique à l'espèce cible. Le dispositif que nous avons choisi de modéliser est, dans un premier temps, volontairement simplifié par rapport au dispositif réel utilisé, la table en Figure 1 précise les principales caractéristiques géométriques du dispositif simulé.

3 Simulation par éléments finis

La Figure 2 représente une simulation issue de l'application d'un signal sinusoïdal de 10 V d'amplitude à une fréquence de 117 MHz sur l'IDT émetteur situé à la gauche du dispositif de la Figure 1.

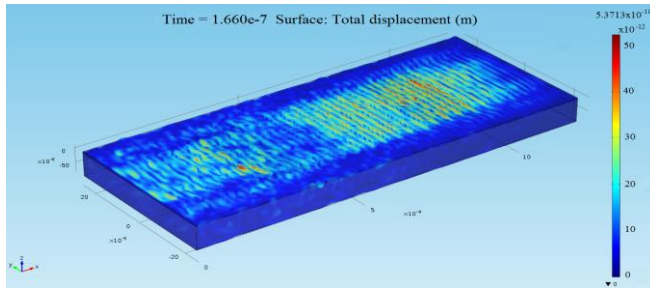


FIG. 2 – Propagation d'une onde de Love à $t = 16,6 \mu\text{s}$.

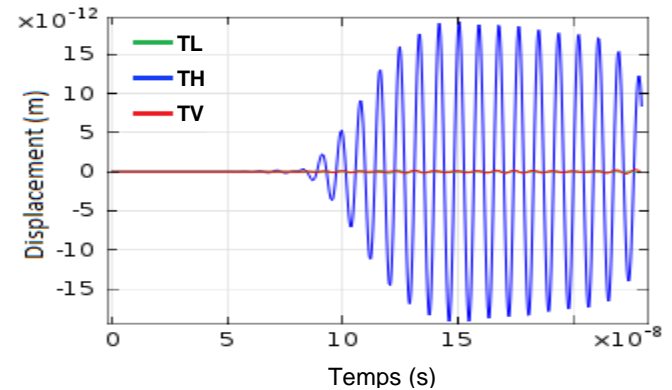


FIG. 3 – Contribution des polarisations TL, TH et TV à la propagation de l'onde de Love.

La Figure 2 illustre les déformations mécaniques de la structure pour une « photographie » prise à $t = 16 \mu\text{s}$. Cette déformation mécanique se propage le long de la structure avec une amplitude décroissante en s'éloignant de la surface supérieure. Elle est composée des trois polarisations : transverse verticale (TV), transverse horizontale (TH) et transverse longitudinale (TL). Afin de mieux visualiser la contribution de chacune, nous présentons sur la Figure 3, la déformation mécanique due à la propagation de l'onde sur l'IDT récepteur. Une amplitude de la composante TH 20 fois plus grande que les composantes TL et TV est ainsi observée, confirmant la génération d'une onde de Love, avec un déplacement maximal d'environ 20 pm. Le temps de retard avant l'apparition d'un déplacement correspond au temps mis par l'onde pour se déplacer de l'IDT d'émission à l'IDT de réception. La vitesse de l'onde calculée est de 4761 m/s, ce qui correspond à des mesures expérimentales sur des dispositifs réalisés avec les matériaux considérés, dans des configurations physico-chimiques proches.

4 Conclusion et perspectives

Les résultats obtenus, en accord avec des mesures expérimentales, sont ainsi très encourageants, et montrent le fort potentiel de la modélisation par éléments finis pour l'étude de capteurs acoustiques. Cette méthode représente une évolution significative par rapport aux modélisations analytiques et numériques plus classiques. Nous pouvons ainsi en effet envisager des études visant à estimer l'influence de paramètres structuraux et extérieurs, en considérant l'ensemble du dispositif et des éléments qui le constituent, même non homogènes (IDTs, films sensibles structurés, environnement fluide complexe, etc...).

Références

- [1] Jakoby B., Vellekoop M.J., Properties of Love waves: applications in sensors, Smart Mater. Struct. 6 (6) 668 (1997).
- [2] McMullan C., Mehta H., Gizeli E., Lowe C. R., Modelling of the mass sensitivity of the Love wave device in the presence of a viscous liquid, J. Phys. D: Appl. Phys. 33 (2000) 3053.
- [3] Zimmermann C., Rebière D., Dejous C., Pistre J., Planade R., Love-waves to improve chemical sensors sensitivity: theoretical and experimental comparison of acoustic modes, IEEE Intern. Freq. Cont. Symp. and PDA Exhibition (2002) 281.
- [4] Du J., Harding G.L., A multilayer structure for Love-mode acoustic sensors, Sens. Act. A, 65:152, 1998.
- [5] Zimmermann C., Mazein P., Rebière D., Dejous C., Josse F., Pistre J., A theoretical study of Love wave sensors mass loading and viscoelastic sensitivity in gas and liquid environments, IEEE Ultrason. Symp., 2 (2004) 813.
- [6] Rocha-Gaso M.-I., Fernandez-Diaz R., Arnau-Vives A., March-Iborra C., Mass sensitivity evaluation of a Love wave sensor using the 3D Finite Element Method, IEEE Intern. Freq. Cont. Symp. (2010) 228.